

## 特集①

人間中心の  
ユビキタス・コンピューティングへ向けて  
—パラダイム変化を国際技術競争力向上のチャンスに—

情報通信ユニット 巨理 誠夫



## 1. はじめに

最近「ユビキタス」という言葉を多く見かけるようになった。ユビキタスとは、ラテン語で「遍在する」を意味しており、どこでもコンピュータや端末がネットワークにつながることで、ユビキタス情報社会が実現し、便利で豊かな社会が来ると言われている。コンピュータは、大型から小型へさらにはPCへと発展し今や一人で複数台のコンピュータを使用することもめずらしくはない。ネットワークも、モバイル、ブロードバンドが進展し、どこでも通信できる環境が整いつつある。しかし、単にいたるところにネットワークを構築し、いたるところにコンピュータを置いても、それだけでは、本当に利用者にとって欲しい情報が欲しい時に簡便に入手できない。コンピュータとネットワークを旨く利用する技術と仕組みが必

要である。

PCの普及は一巡し、成長路線は曲がり角にきている。また、ネットワークの高速大容量化が進展してきたが、通信需要は予想したより伸びていない。情報通信技術(IT)は、転換期を迎えている。機器は身の回りに置かれるようになったが、ユーザーに浸透して本当に役立つ技術になっていない。ITが「使える技術から使いやすい技術」へ、「コンピュータ・ネットワーク中心から人間中心」へ転換していくことが必要であり、それが始まろうとしている。その実現を目指す代表的な技術がユビキタス・コンピューティングである。

ユビキタス・コンピューティングとは、身の回りいたるところにあるコンピュータとネットワークによって「いつでも、どこでも、私のために、状況に合わせて」情

報サービスを提供しようとする技術である。本報告では、このユビキタス・コンピューティング技術の現状と課題を説明する。ユビキタス・コンピューティング技術には、モバイル、情報家電など日本にとってポテンシャルの高い技術が含まれており、さらに、欧米が強いインターネットやコンピュータの高性能化技術の延長線上にはない技術が必要であることから、日本にとって国際技術競争力を高めることのできるよいチャンスである。このチャンスを現実の競争力にするためには、基礎研究を実証・応用研究へつなげ、そこで判明した課題を次の基礎研究テーマとして行くという、スパイラル型の研究開発をスピーディに進めることが求められている。その課題を述べる。

## 2. ユビキタス・コンピューティングの狙い

「ユビキタス・コンピューティング」という言葉は、1991年にゼロックスパロアルト研究所のMark Weiserが初めて提唱した<sup>1)</sup>。彼が意図したことは「コンピュータがいたところにある」という表面的なコンピューティングシステムを目指したのではない。「オフィスや家庭の様々な道具や場所にコンピュータ能力が埋め込まれ、人がコンピュータと意識せず

に自然にその機能を使用することができると目指した。ノートPCを持ち歩き、無線LANで情報にアクセスするだけではユビキタス・コンピューティングとは言えない。コンピュータに人が使われているのではなく、人が自然にコンピュータを使える人間中心のコンピュータシステムの研究が提唱された。

ユビキタス・コンピューティン

グでは、多くのセンサーやプロセッサを身の回りに置き、センサー情報や位置情報を用いて人の行動を感知し、その活動の手助けをする。将来実現される世界では、例えば、個人の嗜好が推測され見たいTV番組をどこでも見ることができたり、オフィスや自宅や外出先どこからでもその端末が自分のPCのように利用でき忘れていたことを教えて貰ったり、交通機関

や公共設備で高齢者・障害者を含む誰にでも優しく利用できる支援を提供することが実現される。このように、ユビキタス・コンピューティング技術の目標は、「どこでも、いつでも、私のためにその状況に合ったサービス」を提供することにある。情報通信技術は目覚ましく進展してきたが、これからは技術が前面に出るのではなく、利用者が心地よく使える技術、裏からしっかり支える技術となっていく転換期にあらう。

図表1に示すように、以前からこのような人間活動を支援する研究として、オフィスオートメーション、ホームオートメーション、ユーザーインターフェースなどの

研究が進められていた。しかし、当時は、コンピュータは大きく、ネットワークは配線だけでシステムが巨大となり現実的なシステムは構築できなかった。最近、コンピュータやネットワーク機器の小型化により手軽に使えるようになり、これらの技術の進歩を踏まえて再度理想的な人間活動支援システムを目指す研究としてユビキタス・コンピューティングの研究が注目されるようになってきた。特に、1998年頃米国の学会にて、次世代インターネットや次世代モバイル研究の流れの中から、ユビキタス・コンピューティングに相当する研究の提唱がチャレンジペーパー<sup>2)</sup>として出され、米国国防

高等研究計画局（DARPA）の支援を受け1999年ごろから多くの研究が開始された。

以上述べた人間中心コンピューティングの概念を日本ではユビキタス・コンピューティングと呼んでいるが、欧米では、コンピュータが裏方で見えないという観点から Pervasive Computing（浸透するコンピュータ）や、Invisible Computing（見えないコンピュータ）と呼んだり、利用者の能力を補強するという観点から Proactive Computing（自律的なコンピュータ）や、Sentient Computing（敏感なコンピュータ）とも呼んでいる。

図表1 ユビキタスコンピューティング研究プロジェクトの例

プロジェクト	研究機関	時期	研究内容
TRON 電脳住宅	坂村・電脳住宅研究会	1988～1990	ホームオートメーションの実験。空調、警報、照明、A/V機器の各システムが連動して協調動作する
個人位置認識カードシステム	沖電気、竹中工務店	1988	インテリジェントビル研究の一環として行われたが商品化に至らず
Easy Living	Microsoft	1999～	人の動きをトレース、部屋の機器の制御と管理
Aware Home	GIT (Georgia Institute of Technology)	1999	生活行動のログを取り、活発度を表示（高齢者行動支援）
Oxygen	MIT コンピュータサイエンス研究所	1999～	携帯デバイス（Handy21）、Invisible Computer（Enviro21）、環境変化に適応するネットワーク（Network21）を構築
Smart Dust	Univ. of California Berkeley、インテル	1999～	MEMS技術にて5mm角（30 $\mu$ ）にコンピュータ、センサー、通信機能を内蔵したセンサーを試作 マルチホップ通信を使用して、センサー800個のデモ
Smart Space	慶応義塾大学	1999～	Smart Space 実証実験システムの構築 位置・状況検出、サービスローミング、個人メッセージボード、自動図書入出管理などを試作
STONE ROOM	東京大学	1999～	150m <sup>2</sup> の実証実験システムを構築 位置情報センサー（Dolphin）、レーザーポインターを持つ携帯端末（Smart Tact）、10cm立方体の通信実験デバイス（U-cube）を試作
CoBIT	産業技術総合研究所	2001～	太陽電池、イヤホン、反射シートを持つ無電源小型端末（CoBIT）の試作
Smart-its Tag	Univ. of Karlsruhe	2001～	日常物にセンサーを付け、状況認識を行う 2つの距離が3m以上離れると警告音を発するなど
Sentient Computing	AT&T ケンブリッジ研究所（UK）	2001～	小型携帯デバイス（Bat）を介してオフィス内で個人へ位置依存サービスを提供する大規模な実証実験システム

### 3. ユビキタス・コンピューティング技術の現状と課題

ユビキタス・コンピューティングの実現のためには、図表2に示すように、端末・デバイス層、ネットワーク層、アプリケーション層、セキュリティ層の各技術が必要である。これらの技術の現状と課題を各階層ごとに以下に説明する。また、このユビキタス・コンピューティングの将来像としては、平成14年6月の総務省ユビキタスネットワーク技術の将来展望に関する調査研究会の報告書によれば、2005年には、ユーザーの場所、時刻等からその状況に応じた情報提供や情報発信支援が特定のネットワークサービス上で実現される。また、障害者、高齢者などは最適化された端末を介してアクセスできる。2010年には、ユーザーの行動履歴から状況を判断しユーザーにとって適切な情報提供と情報発信支援が個人用にカスタマイズした端末を介してどこのネットワーク上からでも実現されるとしている。以下に具体的にこれらの技術の現状と今後の研究課題を述べる。

#### 3-1

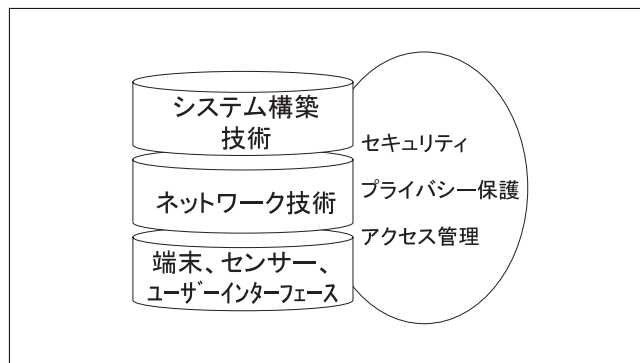
#### センサー、端末、ユーザーインターフェース

ユビキタス・コンピューティングには、実世界の情報を取得することが始まりであり、そのため各種のセンサーや端末が研究されている。また、それらを介してユーザーと情報のやり取りをするユーザーインターフェースもいろいろな実場面での検討が必要である。

##### (1) センサー

実世界の状況を感じ取るデバイスには、センサー（状況の感知）、コンピュータ（情報の処理）、通信（ネットワークとの通信）3つ

図表2 ユビキタス・コンピューティング技術体系



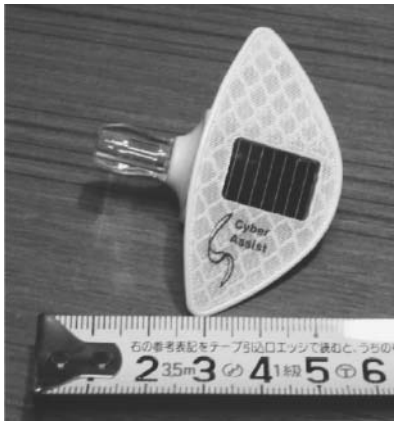
の機能をコンパクトに持つことが求められる。

例えば、UCB（University of California, Berkeley）の Smart Dust プロジェクト<sup>3)</sup>では、MEMS（Micro Electrical Mechanical Systems）技術により5mm角にセンサー、コンピュータ、通信の3つの機能を内蔵するデバイスを作成し、これらを空間に多数置き、環境情報を収集している。グレートダック島の鳥の生態調査のために、多数のウミツバメの巣に Smart Dust を置き、巣の温度、湿度等を実時間で遠隔地からモニタリングした。慶応大、産業総合技術研究所等ではSELF（Sensorized Environment for LiFe）プロジェクト<sup>4)</sup>において、生活環境に多数のセンサーを埋め込みそこで活動する人間の生理状態や行動を観察し人間を支援するシステムを開発している。血圧、体温、脈拍等センサーがネットワークに結合すれば、健康基礎データの収集・記録・管理が可能となる。老人の遠隔支援、専門医療支援、緊急医療支援など、医療・介護・福祉などに役立てることを検討している。もちろん、安心してこれらのサービスを受けられるようにするためには、個人情報の厳格な管理技術が必要であることは言うまでもない。さらには、センサーが広域の公共領域に設置されネット

ワークにつながれば、環境モニタリング、交通渋滞モニタリング・交通管制、防犯など公共領域の安全・安心を改善していくことが可能となる。今後の発展が期待される研究分野である。

日本でもセンサーデバイスの研究は盛んで、特に、最も単純な例としては、電源を持たないRFID（詳細は2003年5月号特集記事を参照）は実用例も出現し始めている。このRFIDはICチップとアンテナを持ち、無線による外からの働きかけにより動作する。コンピュータほどの処理能力はないが製品IDコードなど簡単な情報の読み書きが可能である。この情報はリーダー・ライターを介してネットワークに送られ、物の位置情報・状態が把握できる。物流管理などへの応用普及が急展開し始めている。一方、RFIDと案内システムをリンクさせると個人の行動を支援することが可能となる。例えば、航空券にRFIDを付け、空港内にRFIDリーダー付き案内表示ボードを設置すれば、個々の利用者に対して、チェックインカウンターからゲートまで案内誘導をすることができる。このように公共施設・交通機関などにおいて高齢者も優しい利用者支援システムを構築することも可能となる。今後、RFIDを利用した人に優しいシステムが出現してくると期待される。

図表3 無電源小型通信端末  
CoBIT イヤホン型



出典：産業技術総合研究所

図表4 小型携帯端末 Bat  
(2 ボタン、2 LED、ブザー)



出典：IEEE Computer 2001 Aug

一方、デバイスとしての今後の研究課題は、要求のある時のみ動作する消費電力制御型長寿命センサー、超低消費電力センサーデバイス、超小型コンピュータ、超小型チップ技術などにある。

## (2) 端末とユーザーインターフェース

ユビキタス・コンピューティングには、広く普及している携帯電話が主要な端末として考えられている。しかし、端末としては、いろいろな形態があり得る。ウェアラブル端末（ウェアラブルコンピュータ）はその一つである。端末を「携帯する」のではなく「着用する」ものとして研究開発が進められている。ヘッドマウント形、腕時計形、ポケット挿入形などが提案されているが、まだ、特殊用途のみで広く普及するには至っていない。

端末には、使い勝手の良さ（操作性：ユーザービリティ）や、使用状況に適したユーザーインターフェースが求められる。通常のコンピュータのインターフェースはディスプレイ、キーボードであるが、それを持たない端末もそれを支援する情報システム（ユビキタス・コンピューティング環境）が優れていれば使いよい端末となり

える。例えば、産業技術総合研究所ではマイボタン<sup>5)</sup>と呼ぶ1ボタン、音声入出力、光通信など単純なインターフェースにて構成される超小型携帯端末を試作し、駅や空港の案内システムの検討を行っている。端末の形状は、ポケットに入る印籠形や音声通信中心のイヤホン形（図表3）が試作されている。また、AT&Tケンブリッジ研究所では、2つのボタン、2つのLED、ブザーを入出力デバイスとした小型携帯端末（BAT<sup>6)</sup>）を試作（図表4）して単純なインターフェースでもオフィス業務支援に有用（例えば、スケジュールの通知や、個人の現在位置への電話転送など）であることを示している。端末のインターフェースとして、状況によっては必ずしもディスプレイやキーボードを持たなくてもよいことが示されている。日本では、世界を先導する携帯文化や情報家電技術を持っており、従来のコンピュータの枠に捕らわれない新しい発想によるユーザーインターフェースの研究の発展が望まれる。

また、コンピュータを見えないところ隠し家具や建具に埋め込むいわゆる「スマート建材」も研究<sup>7)</sup>されている。通常のコンピュータの形を取らずに、生活の中に入り

込んで自然な形でコンピュータ機能を使用することを狙っている。人が居ると点灯する照明器具、座るとテレビがつく椅子などが試作されている。この分野では、デザイナーとの共同研究が重要となってくる。

## 3 - 2

### ネットワーク技術

ユビキタス・コンピューティングに求められるネットワーク技術として、センサー情報の通信方式（センサーネットワーク）、ユーザーの状況変化に追従する情報サービス（シームレスサービス）や、センサーネットワークを含め最適なネットワークの構成（ネットワークアーキテクチャ）が研究されている。

#### (1) センサーネットワーク

ユビキタス・コンピューティングにおける通信は、人がPCや携帯端末を介して通信するだけでなく、センサーが埋め込まれたデバイス（物）との通信がある。通常の人と人に加えて、人と物、物と物の通信が必要となる。この物の数は人に比べて数が桁違いに多くなる可能性がある。このような多数の物との通信においてインター

ネットと整合性のよい方式としては、アドレス空間の大きいIPv6技術がある。しかし、一方で、インターネットにおける通信プロトコル処理は比較的大きく、センサーデバイスのような超小型デバイスでは負担が大きい。そのため、センサー間を結ぶセンサーネットワークでは通信処理の軽量化が望まれている。また通信範囲はローカルでよい場合も多く、その場合はグローバルなインターネットである必要性はない。センサーデバイスに搭載されるOSも小型で軽いOSが望まれている。

無線通信機能を持つセンサーが数多く置かれた状況では、相互につながネットワークとして、アドホックネットワークがよく使われる。アドホックネットワークは、通信がデバイス間をリレーして渡り歩き目的地まで通信する方式で、その場限りのネットワークが構成されるものである。センサーの位置、数が変動してもすぐ適応できる特徴がある。米国の軍用に開発されてきた技術であり、小型センサー向きに通信処理を軽くする課題がある。また、通信の経路制御、高効率な通信方式の研究も盛んに行われている。

## (2) シームレスサービス・サービスローミング

ユビキタス・コンピューティングでは、異種のネットワークを介して同一のサービスを提供することが望まれる。例えば、TV会議サービスを会議室だけでなく、自席のPCや手持ちの携帯電話でも受けられ、その間もサービスが途切れずスムーズに移動できることを可能にしたい。これは、TV会議サービスを固定回線でも移動通信でもどこの端末でも実現させることであり、サービスローミング(異種ネットワーク間のサービスの移動)、シームレスサービス(切れ目ないサービス)と呼ばれ、

研究が進められている。サービスローミングの研究例としては、慶応大のSmart Space Labプロジェクト<sup>8)</sup>と連携した東大のSTONE ROOM<sup>9)</sup>プロジェクトにおいて、携帯電話の映像を部屋のプロジェクトに移動させる実証実験が行われている。シームレスサービスの実現は利用者から望まれていることであるが、ネットワーク構成、ネットワークサービスビジネスモデルとも関係し難しい課題を多く含んでいるが、サービスの発見方式や異種ネットワーク間のサービス移動制御方式など、まずは技術的に効率のよい方式の研究が待たれている。

## (3) ネットワークアーキテクチャ

ユビキタス・コンピューティングを支えるネットワークとしては、現在のネットワークのアーキテクチャ(構成)には課題がある。現在主流のインターネットは、1970年代の設計思想に従った「利用者の端末間を対等に通信する」方式が基本にある。しかし、ユビキタス・コンピューティングでは、身の回りの通信を快適に行うことが主体にあり、身の回りのセンサーがインターネットのような世界中どこでも対等に通信する必要はない。さらに、個人情報管理の面からは、個人情報をローカルネットワーク内に留め、グローバルなネットワークには情報を出さない管理が可能となるネットワークが求められている。

ネットワークは今まで、世界中のどこでもあらゆるコンテンツとつながるように発展してきた。しかし、ネットワークの接続先はインターネットアドレス(IPアドレス)を持つコンピュータや、携帯端末に限られている。身の回りのいわゆる「First 10m」にある情報にどのようなネットワークからアクセスするか、そのローカルネットワークをグローバルネットワ

ークにどのように接続させるか、ネットワーク全体のアーキテクチャ(構成)が大きな課題になっている。

一方、インターネットも取り扱うコンテンツが多様化しネットワークに多様な機能が求められ、実時間が保証されなければならない動画通信やセキュリティ・プライバシー保護のためのコンテンツ管理など、現在のインターネットでは対応しきれなくなる恐れが生じている。米国では、インターネットの限界を見据えて新しいネットワークのアーキテクチャの研究が始まっている。しかし、この研究ではまだユビキタス・コンピューティングを視野に入れた研究は少ない。日本では、モバイル通信、情報家電のホームネットワークなどの関連でネットワークアーキテクチャの研究が進められているが、視野を広げてユビキタス・コンピューティングを含むネットワーク全体のアーキテクチャの研究が望まれる。

このようなネットワークアーキテクチャの研究では、基礎研究としての新しいアーキテクチャの提案とそれを実証していく研究ネットワークの構築が必要であり、基礎と応用が車の両輪として進められる必要がある。

## 3 - 3

## システム構築技術

ユビキタス・コンピューティングのアプリケーションでは、位置特定技術、状況認識技術、パーソナライズ技術、動的適応ソフトウェア技術を使用してシステムが構築される。

### (1) 位置特定技術、状況認識技術

ユーザーの位置や状況を把握できれば、その状況に即したいろいろなサービスが提供できる。位置情報を得る方法としては、GPSを



利用する方法、ユーザーにRFIDタグを持たせセンサーにて検出する方法、カメラからの映像情報から解析する方法など多くの方法が研究されている。例えば、英国AT & Tケンブリッジ研究所のSentient Computingプロジェクト<sup>6)</sup>では、各ユーザーがIDを持った小型携帯端末BATを持ち歩き、ビル内に設置された超音波センサーから各ユーザーの位置を検出する。この位置情報と各ユーザーのスケジュール情報などから各ユーザーの状態（外出中、会議中、電話中など）をディスプレイにリアルタイムで表示することにより、自席に着信した電話を重要な会議中でない場合は移動先に転送したりする。オフィスサービスシステムが構築され、50人のユーザーにて実験が行われている。一方、マイクロソフトのEasyLivingプロジェクト<sup>10)</sup>ではカメラからの映像を画像解析し、人の位置、状況を推定している。

## (2) パーソナライズ技術

ユーザーの嗜好を推定し、システムを特定個人にカスタマイズする技術がパーソナライズ技術である。例えば、MITのコンテキスト・ウェア・コンピューティン

グプロジェクトやNTTソフトウェア研究所、NECなどで、ユーザーのWebアクセスの履歴を記録・分析してユーザープロフィールを作成し、これを用いて、ユーザーがWebアクセス時に次ページを予測したり、ユーザーの欲しい情報のみを表示させたりしている。

システム構築技術における研究テーマは、過去人工知能の研究の一部として進められ、状況が比較的簡単な場合は実用化されている。しかし、実際の場面は、利用者の状況を単純な情報から判断するのみでなく、周りにある複数のセンサーや複数の利用者との対話から、状況判断が求められる。複数利用者の調整機能や、曖昧な条件を状況に応じて判断することが求められ、対話解析、調停・合意形成、協調的問題解決技術などが、今後の研究課題である。

また、ユビキタス・コンピューティングのソフトウェアの蓄積や普及のためには、共通に使用できるミドルウェアの整備やアプリケーション・プログラム・インターフェース（API）の整備が重要である。この領域では標準化競争が起こる可能性が高く、その動向を注視する必要がある。

## 3 - 4

### 他の必須技術

ユビキタス・コンピューティングでは利用者の支援をするため個人情報を取り込む。利用者が安心して使うためには、取り込んだ情報が保護され、他へ流出しないことが必須となる。すなわち、セキュリティ技術、プライバシー保護技術が必須である。個人情報の管理には、その情報の性質に応じて管理規定（プライバシーポリシー）を設定しそれに従った管理がされなければならない。プライバシーポリシーの設定上検討すべき項目としては、個人情報利用の通知、提供範囲の同意と選択、匿名性の実現、提供範囲の局所化、個人情報の適切なセキュリティ管理などが考えられている<sup>11)</sup>。さらに、通りすがりの人に対してサービスを提供する場合などパスワードが使えない状況もあり、その場合の認証・セキュリティをどのように行うかも課題となっている。

個人情報の外部漏洩を阻止するために場合によっては、グローバルなネットワークとの切断機能を持つことも必要となろう。個人の医療情報は医療機関に管理されているが、完治すれば、他の目的に利用されないように医療機関の情報は削除され個人へ戻すことも可能にしたい。一度外部に出した情報が削除されていることを保証する技術も必要となろう。このようなプライバシー管理技術の向上も求められる。また、セキュリティやプライバシー管理は、悪用者との競争でもあり、常に最新のセキュリティ、プライバシーに関する技術を導入することを心がけていなければならないであろう。

図表5 ユビキタス・コンピューティングの技術課題

技術レイヤ	技術課題
センサー、端末、ユーザーインターフェース	低消費電力・長寿命センサー 超小型コンピュータ、超小型チップ 多様な携帯端末、スマート建材 ユーザー適応インターフェース
ネットワーク技術	軽い通信、軽いOS センサーネットワーク、アドホックネットワーク シームレスサービス、サービスローミング 通信対象特定技術（ネーミング技術） 新世代ネットワークアーキテクチャ
システム構築技術	位置特定技術 状況認識技術、パーソナライズ技術 動的適応ソフトウェア技術
必須技術	セキュリティ技術、プライバシー保護技術 情報アクセス管理技術 ネットワーク接続off技術 信頼性技術、フォールトトレラント技術

## 4. 各国のプロジェクトの状況

日本では、総務省、経済産業省を中心にブロードバンド、モバイルなどネットワーク構築に向けたハードウェア中心の基盤作りの国家プロジェクトが多かった。しかし、ユビキタス・コンピューティングの研究には、ソフトウェア、アプリケーション研究が必要である。平成14年度からは図表6に示すようにソフトウェアやアプリケーション研究へ少しずつ研究投資は増えてきているが、さらに増やしていくことが望まれる。

一方、米国では、国防高等研究計画局（DARPA）が1999年にProactive Computing研究戦略を

提唱したのをきっかけに、ユビキタス・コンピューティング研究が盛んに進められるようになった。具体的にはセンサーデバイス、ユビキタス・コンピューティング空間（Smart space）の研究が開始された。2002年1月にはテロリズム対策強化のためInformation Awareness Office（IAO）が設立され、従来から進めていた情報検知・管理に関する技術開発プログラムを集結させ強化している。その中にて、行動のモニタリング、状況認識、プライバシー保護技術の開発が推進されている。また、国立科学財団（NSF）でも2001年

からPervasive Computing、Sensor Networkのテーマで研究資金が提供されている。

欧州でも、EUが出資しているInformation Society Technology（IST）Research Programの中でユビキタス・コンピューティング研究として“Disappearing Computer”イニシアティブが2001年1月から開始されている。このイニシアティブの各プロジェクトは2～3年の計画で進められ、13カ国37研究機関から300人年が投入される予定である。その内50％はEUから出資される。

図表6 日本のユビキタス・コンピューティング関連する主要な国家プロジェクト

機関	時期	プログラム名	プロジェクトテーマ
総務省	平成15年度～	情報通信分野の研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>●超小型チップネットワーク技術</li> <li>●ユビキタスネットワーク制御・管理技術</li> <li>●ユビキタスネットワーク認証・エージェント技術</li> </ul>
放送・通信機構	平成12年度～	創造的情報通信システム開発事業	スーパーインターネットプラットフォーム技術の研究開発の一部（ユビキタスアプリケーションの構築）
	平成14年度～	成果展開等研究開発事業	ヒューマンセンタリックユビキタスネットワーク基盤システムに関する研究開発
経済産業省	平成14年度～	情報通信基盤高度化プログラム	高度ネットワーク：ユビキタス環境におけるサービスシステム・プラットフォーム
新エネルギー・産業技術総合開発機構	平成14年度～	産業技術助成事業	安全なユビキタス社会を実現する組み込み機器用アドホックネットワーク基盤ソフト
文部科学省	平成12年度	科学技術振興調整費	人間支援のための分散リアルタイムネットワーク基盤技術の研究

図表7 欧米のユビキタス・コンピューティングに関連する主要な国家プロジェクト

地域	機関	期間	プロジェクト
米国	DARPA	1999～2000～	SenseIT, MEMS Smart Spaces
	NSF	2001～2002～2003～	Scalable information infrastructure for pervasive computing and access Sensors and Sensor Networks Ubiquitous/Pervasive computing, Distributed sensor networks
欧州	EU Information Society Technology (IST) Research Program	2001～	Disappearing Computer Initiative <ul style="list-style-type: none"> <li>● Global Smart Space</li> <li>● Designing Interactive, Intergenerational Interfaces for Living Together</li> <li>● Multiple Intimate Media Environments</li> <li>● Dynamic Information Controls in a Hybrid World</li> <li>● Smart Its</li> <li>● Situating Hybrid Assemblies in Public Environments</li> </ul> ETC

## 5. 今後の課題

最近では、ブロードバンド、モバイルが進展して「どこでも、いつでも」通信ができるようになり、ユビキタス情報社会がすぐ来るように思われがちである。しかし、多くのコンピュータを身の回りに置いてネットワークにつなげば、ユビキタス・コンピューティングが実現する訳ではない。ユーザーへの支援・使い勝手が考慮されたユビキタス・コンピューティング実現への道のりは始まったばかりである。3章にユビキタス・コンピューティングを実現するための技術課題を述べたが、これらは、従来進めてきた高速、高性能追求の延長線上にない技術も数多くある。インターネット技術やソフトウェア技術では米国が圧倒的な強さと先進性を持っているが、ユビキタス・コンピューティング分野ではモバイル、情報家電等の技術を持つ日本がリードするチャンスが出てきている。

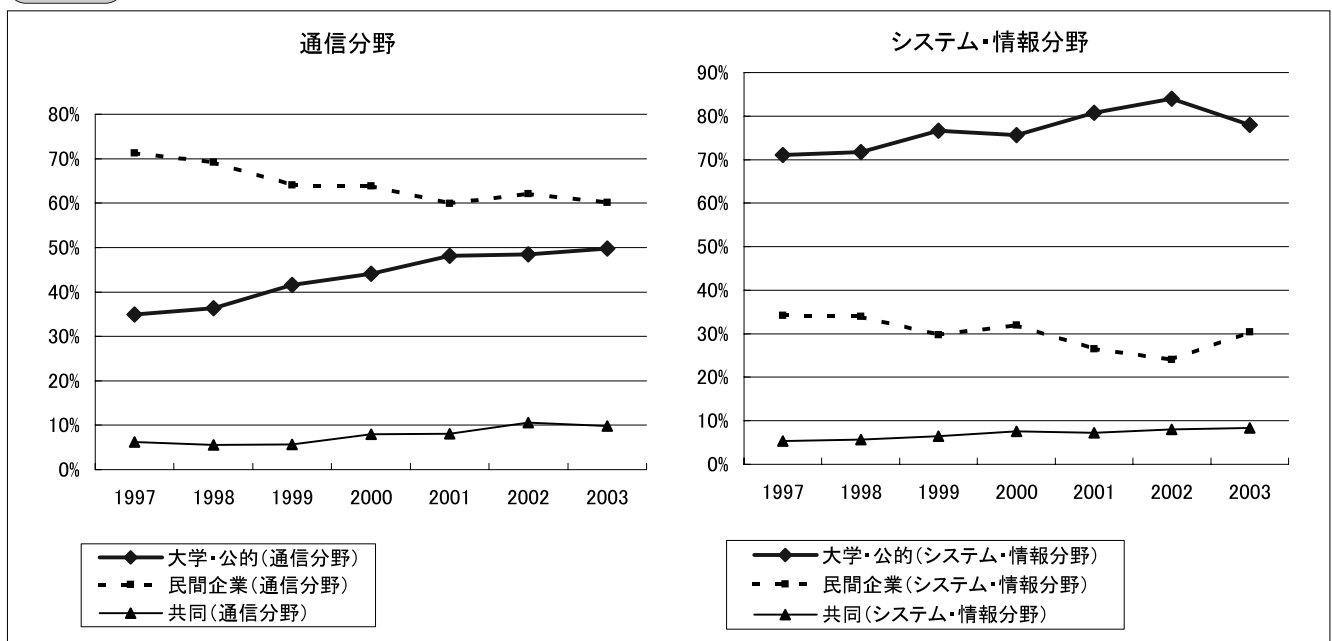
米国でインターネット技術が圧

倒的に強くなった源には、産学連携による基礎研究と応用研究の強い連携があった。インターネットの発展経緯を見ると、米国国防高等研究計画局DARPAによる大学研究ネットから始まり、基礎研究のアイデアが実証ネットワークにて検証されつつ発展した。Webブラウザも研究コミュニティ内での利用から始まり、広く普及していった。日本では実証実験＝応用研究と捉え産業界の課題と考えられがちであるが、実証研究の中で各要素技術の将来の研究課題が見つけ出されるのであり、基礎研究にその課題をフィードバックする重要な意味を持つ。ユビキタス・コンピューティングのようなIT分野では、技術の進展が早く、基礎研究でのアイデアを早期に比較的大規模なシステムにて実証しなければならず、緊密な産学連携が必要である。

しかしながら、日本では、産学連携が叫ばれて日が浅く、それほ

ど進展していない。最近、IT不況により、IT企業の研究体力が低下している。一方、科学技術基本計画の後ろ盾もあり大学の研究資金は増加した。最近の産学間の共同研究状況を、ユビキタス・コンピューティング技術のベースとなる通信とシステム・情報分野における学会の総合大会の発表論文数により調査した。図表8に示すように、90年代後半より大学・公的研究機関の論文発表割合は増加し続け、民間企業の論文発表割合は減少している。また、大学・公的研究機関と民間企業との共同発表は微増でその割合は低いままである。IT不況により産業界は基礎研究から手を引きつつあるが、一方で、主に大学は実世界から遠く離れたところで基礎研究をやっている。最近では産学連携が叫ばれてきているが、まだ、その共同研究成果が顕著に現れていない。産学連携の共同研究がもっと実効ある形で推進されるような国の施策が望まれる。

図表8 電子情報通信学会総合大会発表論文数 大学・公的研究機関と民間企業の割合



(注) 大学・公的研究機関は大学と公的研究機関。共同は大学・公的研究機関と民間企業との共同発表。



## 6. おわりに

ユビキタス・コンピューティングの実現へ向けた研究は、コンピュータやネットワークを「機械中心」主義から「人間中心」主義へ転換することを目的としており、利用者の立場に立って、安心して、使いやすい、コンピュータを目指している。この実現に必要な技術には、小型化技術、状況認識技術などがあり、従来のコンピュータやネットワークの高度化の延長線上にない技術がたくさん含まれている。インターネット技術やソフトウェア技術では米国が圧倒的な強さと先進性を持っているが、ITの転換期が始まろうとしている今、モバイル、情報家電等の技術を持つ日本がユビキタス・コンピューティング分野で先頭を走れるチャンスが出てきている。

IT分野の技術革新はめまぐるしく早い。基礎研究を実証・応用研究へつなげ、そこで判明した課題を次の基礎研究テーマとして行くという、スパイラル型の研究開発を短いサイクルで推進することが求められている。近年は、IT不況により産業界の研究体力が低下しており、一方で、大学は産学連携に向けた組織が整備されつつあるが、未だ実世界から離れた基礎研究が主体である。もっと産学で具体的な研究テーマで議論を進めるとともに「将来応用への展開につながっていく基礎研究」に国の研究投資をシフトさせる必要があろう。

産学が共同でスパイラル型の研究開発を推進・加速することによって、ユビキタス・コンピューティング技術開発の先頭を走れるようにしたい。

### 謝 辞

本稿をまとめるに当たり、東京大学森川博之助教授、慶應義塾大学徳田英幸教授、産業技術総合研究所中島秀之サイバーアシストセンター長から、ユビキタス・コンピューティング研究動向に関して貴重なご意見を頂きました。ここに深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) M. Weiser, "The Computer for the 21st Century," Scientific American, Sep 1991
- 2) 例 え ば G. Banavar, J. Beck, E. Gluzberg, J. Munson, J. Sussman, D. Zukowski, "Challenges: An Application Model for Pervasive Computing", ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom2000) や D. Tennenhouse, DARPA ITO (Information Technology Office), "ProActive Computing," Luncheon Speech, MobiCom'99, Aug. 1999 など
- 3) B. Warneke, M. Last, B. Leibowitz, K.S.J. Pister, "Smart Dust: Communicating with a Cubic-Millimeter Computer", IEEE Computer Jan. 2001

- 4) 山崎信行、堀俊夫「分散リアルタイムネットワーク用プロセッサとその応用」情報処理、Vol.44, No.1, (2003年1月)
- 5) 中島秀之「マイボタンによる状況依存支援」人工知能学会誌、Vol.16, No.6, (2001年11月)
- 6) M. Addlesse, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggles, A. Ward, A. Hopper, "Implementing a Sentient Computing Systems," IEEE Computer, Aug. 2001
- 7) 青木崇行、村瀬正名、松宮健太、中澤仁、西尾信彦、高汐一紀、徳田英幸、"Smart Furniture: Improvising Ubiquitous Hot-spot Environment", 情報処理学会情報家電コンピューティング研究グループ第4回研究会 (2002年11月)
- 8) 徳田英幸、中澤仁、岩井将行、由良惇一、村瀬正名、「ユビキタス空間を融合するネットワーク技術への課題」、情報処理、Vol.43, No.6, (2002年6月)
- 9) 森川博之、南正輝、青山友紀、「ユビキタスネットワークキングへの道」、情報処理、Vol.43, No.6, (2002年6月)
- 10) Easy Living, <http://research.microsoft.com/easyliving/>
- 11) Marc Langheinrich, "Privacy by Design-Principles of Privacy-Aware Ubiquitous Systems," Proc. Ubicomp 2001, Oct. 2001

.....